

VU Research Portal

Table-top tunable narrow-band extreme-ultraviolet sources: from low to high-order optical harmonic generation

Brandi, F.

2004

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Brandi, F. (2004). *Table-top tunable narrow-band extreme-ultraviolet sources: from low to high-order optical harmonic generation*. [PhD-Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam].

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

Samenvatting

Dit proefschrift (*Kleinschalige afstembare smalbandige extreem ultraviolette bronnen: van lage naar hoge orde optische harmonische generatie*) beschrijft de ontwikkeling en toepassing van kleinschalige (d.w.z. passend op een enkele optische tafel) stralingsbronnen in het vacuüm ultraviolette (VUV, 200-100 nm) en extreem ultraviolette (XUV, 100-10 nm) deel van het elektromagnetische spectrum. Meer specifiek, niet-lineaire conversie van laserstraling in een gasvormig medium wordt benut om smalbandige en continu afstembare straling te genereren. Met een dergelijke lichtbron kan nauwkeurige hoge-resolutie spectroscopie verricht worden in het frequentiedomein, om zodoende de energieniveauctuur van atomen en moleculen te ontrafelen.

Hoofdstuk 1 bevat een inleiding in de niet-lineaire optische processen van harmonische generatie met behulp van intense laserpulsen. Twee verschillende gebieden van lage en van hoge orde harmonische productie worden onderscheiden: lage orde harmonische generatie (LHG) met pulsen van relatief gematigde intensiteit ($I < 10^{13}$ W/cm²) wordt beschreven met storingstheorie; het proces van hoge orde harmonische generatie (HHG) wordt beschreven in termen van een semi-klassiek driestaps botsingsmodel. Als sterke ionisatie optreedt, door multi-foton absorptie en door "tunneling", is storingstheorie niet langer toepasbaar. Specifieke kleinschalige bronnen in het VUV/XUV domein, die gebaseerd zijn op LHG en HHG, en voorbeelden van toepassingen ervan worden besproken.

Deel I (Hoofdstukken 2 en 3) beschrijft spectroscopische metingen aan xenon en krypton, verricht met een VUV stralingsbron gebaseerd op LHG. Metrologische studies met hoge precisie maken het mogelijk de energie van aangeslagen toestanden nauwkeurig te bepalen. De energieniveauctuur van krypton is bepaald met een ongekende absolute nauwkeurigheid van 40 MHz. Een nieuwe nauwkeurige bepaling van de ionisatie-energieën van zowel xenon en krypton wordt beschreven. Met behulp van massa-opgeloste spectroscopie maakt het mogelijk om isotoopverschuivingen en de hyperfijnstructuur van aangeslagen toestanden te bepalen. In zowel xenon als ook in krypton leert een grafische analyse volgens King, dat sterke ladingsafscherming optreedt door het buitenste *p*-electron op het *s*-electron in de voor edelgassen karakteristieke gesloten schil configuratie. Hyperfijnconstanten zijn bepaald voor enkele aangeslagen toestanden in xenon. Onderzoek aan de verschuiving van een twee-foton aangeslagen toestand in krypton door het dynamisch Stark effect geeft belangrijke inzichten voor absolute ijking van XUV-frequenties, als die geproduceerd worden door resonantie versterkte processen.

Deel II behandelt de ontwikkeling en de toepassing van een nieuw type XUV stralingsbron gebaseerd op HHG.

In Hoofdstuk 4 wordt een lasersysteem beschreven, dat nabij-infrarode laserpulsen levert van 300 ps tijdsduur, 225 mJ aan energie en bij 10 Hz herhalingsfrequentie. De in golflengte verstembare pulsen worden geproduceerd in een gepulste kleurstofversterker die gepompt wordt door gepulste Nd:YAG laser en de frequentie wordt bepaald door injectering van licht uit een continue Titaansaffier laser. De pulsen van 300 ps

duur worden op hun beurt geproduceerd door toepassing van de techniek van puls-compressie door gestimuleerde Brillouinverstrooiing. De zo geproduceerde pulsen in het nabije infrarood worden versterkt in een Titaansaffier versterkerketen. De resulterende hoog-energetische pulsen in het nabije infrarood hebben een fraai bundel profiel ($M^2 = 1.2$) en zijn in bandbreedte bijna Fourier begrensd (tijd-frequentie bandbreedte product = 0.48).

In Hoofdstuk 5 wordt de productie en karakterisatie van smalbandige en verstembare hoge orde harmonischen gerapporteerd. Als de hoogvermogen nabij-infrarode pulsen met een 20 cm lens worden gefocusseerd, wordt een lichtintensiteit bereikt van $5 \times 10^{13} \text{ W/cm}^2$ en daarmee wordt coherente straling geproduceerd in edelgassen met golflengtes zo laag als 40 nm (bij de 21^{ste} harmonische). Het frequentiespectrum van de harmonischen wordt bepaald via lineaire absorptiespectroscopie aan welbekende atomaire spectraallijnen. De bandbreedte van de 9^e en 15^e harmonischen, bij 86 nm en 52 nm geeft een oplossend vermogen ($\lambda/\Delta\lambda$) van 2.8×10^5 . Vanuit het perspectief van bandbreedte en resolutie zijn deze resultaten beter dan wat wordt bereikt bij speciale stations bij synchrotron bronnen, en ze brengen hoge orde harmonische generatie in het domein van hoge resolutie VUV/XUV spectroscopie.

In Hoofdstuk 6 wordt een precisie-studie aan zg. "chirp"-effecten in HHG beschreven. Vooral de frequentieverschuiving in de harmonischen in relatie tot de verwachte waarden (gehele veelvouden van de fundamentele frequentie) is gemeten in hoge resolutie en als functie van de gasdichtheid. We vinden dat de belangrijkste bijdrage aan deze "chirp" in HHG komt van zelf-fasemodulatie in de fundamentele, die geïnduceerd wordt door temporele veranderingen in de brekingsindex van het plasma, dat geproduceerd wordt door de laser. Dit resulteert in een blauw-verschuiving van de harmonische frequenties evenredig met de gasdichtheid. Andere effecten, zoals zelf-fasemodulatie a.g.v. het Kerr-effect van neutrale atomen, of het niet-adiabatische effect gerelateerd aan botsingsprocessen in HHG, geven een verwaarloosbare bijdrage als pulsen van 300 ps worden gebruikt. Van speciaal belang is de waarneming van een dichtheidsafhankelijke roodverschuiving in de harmonische frequentie. Dit fenomeen, tot dusverre nog niet waargenomen in HHG, kan wellicht worden gerelateerd aan plasma-dynamische effecten, of aan een sterke frequentie-"chirp" in de fundamentele. Mogelijk experimenten om de aard van deze roodverschuiving te onderzoeken worden gesuggereerd.